



“Activando búsquedas por longitud de onda en una base de datos de índices hiperespectrales”

Diseño, desarrollo e implantación de una base de datos de índices hiperespectrales junto con una aplicación de acceso y gestión

Federico Piñuela García

Toledo,
27 de Agosto de 2015

Índice de contenido

1. Introducción.....	2
1.1 Fundamentos de la teledetección.....	2
1.2 Índices hiperspectrales.....	6
2. Antecedentes.....	9
3. Objetivos y justificación.....	11
3.1 Descripción de los objetivos.....	11
3.2 Justificación del proyecto.....	12
4. Metodología y desarrollo.....	15
4.1 Revisión tecnológica.....	15
4.2 Estructura de la base de datos.....	16
4.3 Desarrollo del sistema.....	17
4.4 Descripción del sistema y funciones.....	18
5. Resultados y discusión.....	23
5.1 Limitaciones y objetivos pendientes.....	23
5.2 Recomendaciones de futuros desarrollos y mejora del sistema.....	25

1. Introducción

1.1 Fundamentos de la teledetección

La teledetección (*remote sensing* en inglés) es una disciplina científica que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, el análisis y la interpretación de fenómenos terrestres y planetarios.

Sus principales fuentes de información son las medidas e imágenes obtenidas a partir de plataformas aéreas y espaciales. Es de hecho la posición de estas plataformas la que determina que la adquisición de la información se produzca de manera remota.

Para la adquisición de información por parte del sensor remoto se requiere de una interacción física entre la superficie terrestre y el mismo sensor, un flujo energético entre ellos. El elemento clave en esta interacción es el flujo de radiación electromagnética entre el objeto observado y el sensor remoto.

El objetivo fundamental de la teledetección es analizar las características de la radiación electromagnética que abandona la superficie terrestre y es captada por el sensor. El análisis de estos datos permite determinar que elemento y factores ambientales las han producido.

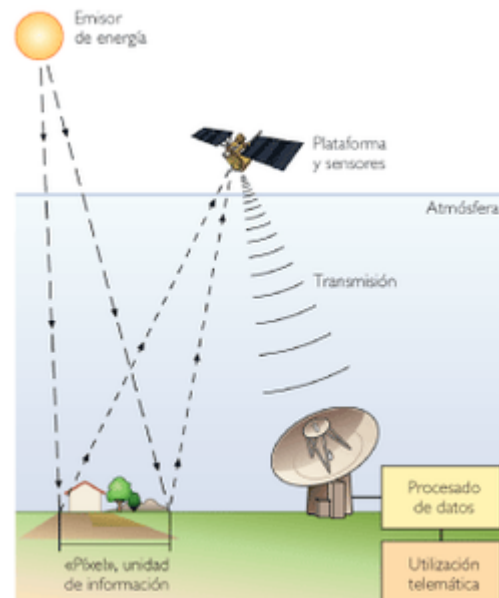


Ilustración 1: Esquema de un sistema de teledetección espacial pasiva

Esencialmente, este flujo electromagnético puede proceder de tres fuentes diferentes:

- Emisión por parte del objeto observado, relacionado con la temperatura del propio objeto.
- Reflexión de una porción de la radiación electromagnética que llega al objeto procedente de una fuente externa:

- El sol como la principal fuente de radiación de nuestro sistema solar. Junto con la emisión de objetos, conforman la teledetección pasiva.
- El propio sensor como emisor de radiación que posteriormente recoge la radiación devuelta por el objeto observado tras la interacción. Es conocida como teledetección activa.

La teledetección basada en la reflexión de la radiación solar incidente es la más empleada y conocida.

La teledetección pasiva basada en la reflexión de la radiación procedente del Sol trabaja en el rango del espectro correspondiente al rango de emisión del propio Sol. Dada su temperatura externa, que ronda los 6000 K, el Sol emite principalmente radiación con longitud de onda entre los 400 nm y los 2400 nm, alcanzando su máximo de emisión en la región del visible.

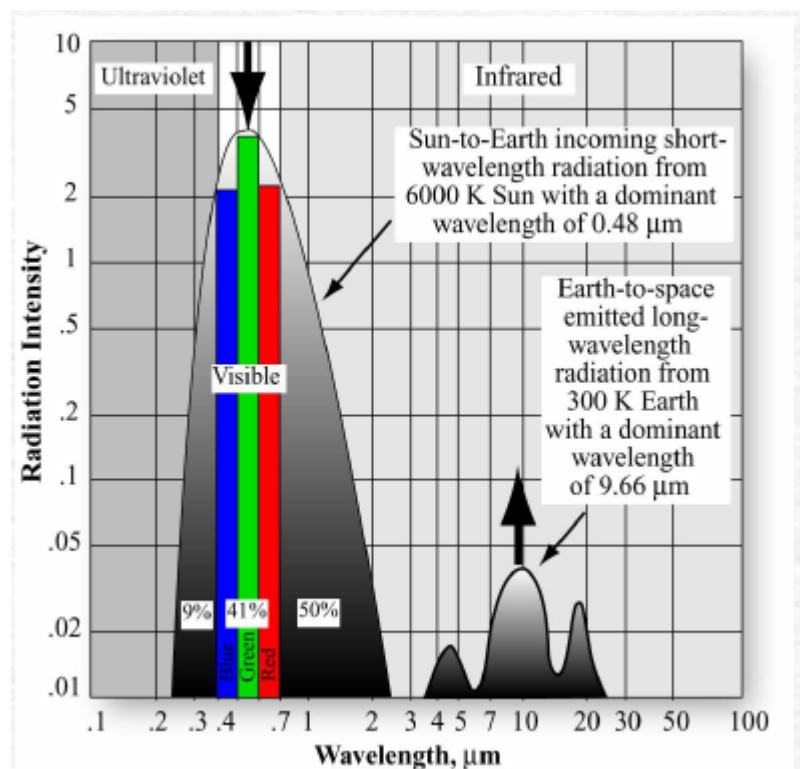


Ilustración 2: Intensidad radiativa solar y terrestre a lo largo del espectro electromagnético (Jensen, 2007)

Dependiendo de la naturaleza del objeto observado, así como de otros factores

externos al mismo que generalmente han de ser contemplados y corregidos, el sensor remoto capta una porción de la radiación solar incidente que ha sido reflejada por el propio objeto, siendo el resto de ella absorbida o transmitida. Gracias a la información referida a la radiación solar total incidente categorizada por longitudes de onda, así como los valores de radiación reflejada procedente del objeto captados por el sensor, también categorizada por longitudes de onda, es posible el procesado de estos datos para obtener el porcentaje de la radiación reflejada por el objeto en cada longitud de onda, denominado comúnmente como reflectividad.

El resultado de este proceso es una firma espectral, característica de cada cubierta y objeto, así como de las condiciones ambientales. Esta información presenta múltiples aplicaciones que van desde la propia clasificación del territorio hasta la extracción de parámetros ambientales útiles en estudios globales o regionales.

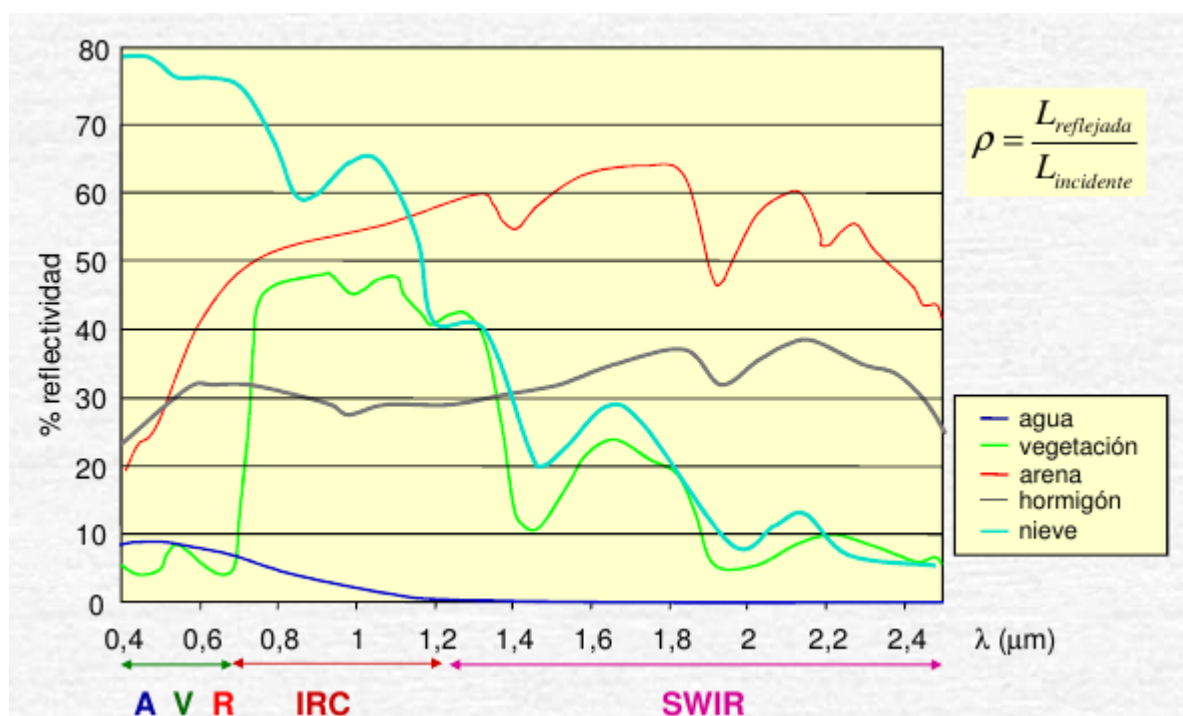


Ilustración 3: Firmas espectrales propias de diferentes cubiertas terrestres

Desde los comienzos del desarrollo de esta tecnología, y especialmente en los últimos 50 años, los diferentes sensores desarrollados han incrementado su capacidad a la hora de tomar unos datos cada vez más refinados. Los esfuerzos han estado dirigidos a mejorar la resolución de la información en 4 aspectos

fundamentales:

- Resolución espacial, relacionada con el tamaño de la unidad mínima portadora de información en la imagen.
- Resolución espectral, relacionada la longitud y número de bandas del espectro en el que el sensor es capaz de recoger información.
- Resolución temporal, relacionada con la periodo o frecuencia en la que se obtiene nueva información referida a un punto de la superficie terrestre.
- Resolución radiométrica, referida a la sensibilidad del sensor a la hora de captar variaciones en la radiación captada y vinculada a la capacidad de codificación en niveles digitales del sistema.

Pese a la elevada relevancia de estos cuatro aspectos, la mejora de la resolución en alguno de ellos a menudo supone sacrificarla en las otras resoluciones.

Sin embargo, el presente documento no contempla profundizar en esta temática, centrando la atención en la resolución espectral.

Como es bien sabido, el espectro electromagnético es considerado continuo y por

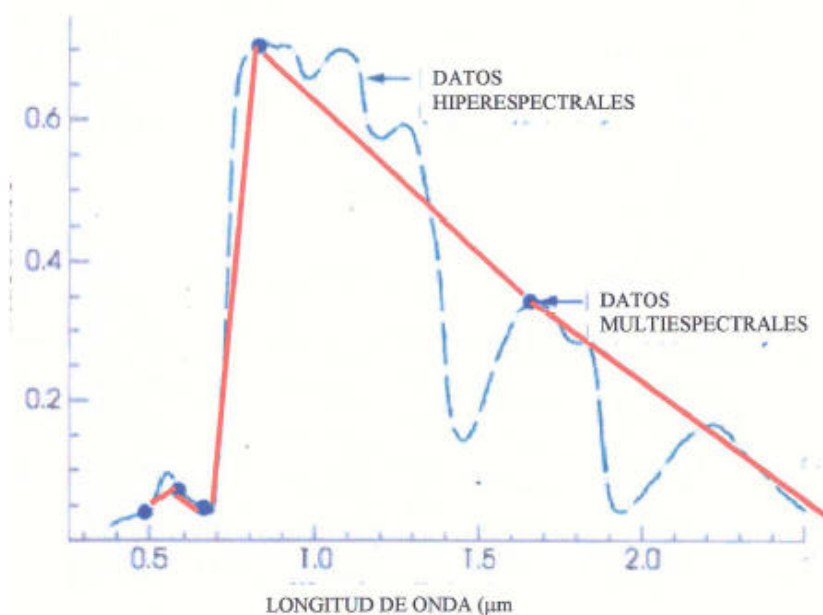


Ilustración 4: Comparación entre el espectro continuo de la vegetación y el extraído de una imagen multispectral de 5 bandas (elaboración propia).

tanto, la firma espectral de un determinado objeto es a la vez continua a lo largo de este. Pese al constante desarrollo de la tecnología de sensores, actualmente existe un límite en cuanto al número de bandas y la longitud de las mismas en las que un sensor puede medir

la radiación capturada, especialmente en el caso de sensores espaciales y aéreos. Este hecho supone la pérdida de información referente a detalles del espectro continuo del objeto que quedan difuminados en la configuración espectral del sensor.

Sin embargo, en la últimas décadas la tecnología ha permitido el desarrollo de una serie de sensores con un número de bandas muy superior, lo que además ha supuesto un descenso en la longitud de las mismas. Este hecho supone una mayor aproximación al espectro continuo, favoreciendo la captura de una información espectral mucho más refinada, detectando detalles que de otro modo quedarían difuminados.

Bajo la anterior premisa, actualmente es posible diferenciar dos tipos de teledetección solar:

- Multiespectral
- Hiperespectral

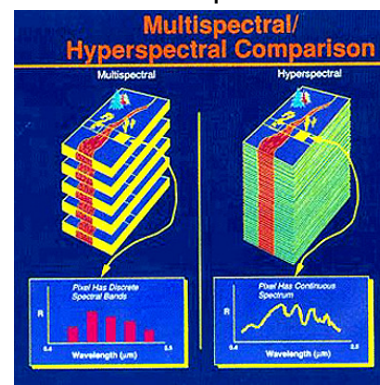


Ilustración 5: Multiespectral vs hiperespectral

La temática del presente documento está referida a este último tipo, y especialmente, a la forma de procesar la abundante información obtenida por los sensores con esta configuración.

1.2 Índices hiperespectrales

La diferencia fundamental entre una imagen multiespectral y una imagen hiperespectral radica en el número de bandas. En una imagen hiperespectral el número de bandas en el espectro es muy superior, encontrándose ordenadas de acuerdo con la longitud de onda, lo que no es requisito indispensable en una

multiespectral. Este hecho supone que la información espectral obtenida por píxel es muy superior, aproximándose al espectro continuo. Así mismo, es usual que la longitud de las bandas sea constante.

Sin embargo, la gran cantidad de información que ofrece una imagen hiperespectral conlleva ciertas dificultades, no sólo en el almacenamiento de esta sino también en el procesado de los datos y la obtención de información útil.

Pese a tratarse de un tecnología relativamente reciente y en proceso de madurez, numerosas son las líneas de investigación que buscan técnicas de procesado de datos y extracción de información hiperespectral con la mínima pérdida de la misma.

Una herramienta clásica que sigue siendo clave a la hora de procesar y extraer parámetros ambientales de imágenes son los llamados índices.

La definición de índice en su faceta hiperespectral deriva de la definición bien establecida de índice en teledetección.

Un índice hiperespectral es una función que puede ser computada a partir de un número restringido de bandas de la imagen hiperespectral con el objetivo de hacer patente una información o elemento. Muchos parámetros ambientales son calculados a partir de estos índices, ya que son dependientes de los valores ofrecidos por diferentes bandas del espectro.

Un caso bien conocido es el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), cuya utilidad ya se hizo patente en el análisis de imágenes multiespectrales a la hora de realizar estudios acerca de la vigorosidad de cubiertas vegetales.

$$NDVI = \frac{R_{864} - R_{671}}{R_{864} + R_{671}}$$



Ilustración 6: Vista de composición color real, falso color y NDVI.

Los índices son clave en el procesado de imágenes hiperespectrales. Prueba de ello es que existen múltiples líneas de investigación que persiguen el desarrollo de nuevos índices con aplicaciones muy variadas, desde estudios atmosféricos y ambientales hasta caracterización de cubiertas antrópicas. Así mismo, la variedad de bandas con características reflexivas similares en la configuración hiperespectral ha propiciado el desarrollo de versiones diferentes de un mismo índice, basado en bandas cercanas en el espectro. Como ejemplo un botón: actualmente existen hasta tres versiones diferentes del NDVI.

Actualmente y dado que la tecnología hiperespectral se encuentra en proceso de desarrollo, la información referente a la misma se encuentra muy fragmentada y dispersa, especialmente en la red. Este hecho es especialmente crítico en el caso de los índices, donde las herramientas que centralicen el acceso a los mismos por parte de investigadores y profesionales son aún muy escasas.

Es por esto que el proyecto objeto de este documento pretende solventar este hecho, desarrollando una herramienta eficaz que permita acceder a una base de datos de índices hiperespectrales ofreciendo criterios de búsqueda acordes con la necesidad del profesional.

2. Antecedentes

Actualmente, la creación de una base de datos de índices hiperespectrales no es una idea innovadora. La principal razón de la aparición de estas herramientas radica en la dificultad de acceder a información hiperespectral de calidad. Como se ha comentado con anterioridad en varias ocasiones, la tecnología hiperespectral es relativamente reciente lo que supone que la información relacionada sea aún escasa, aunque cada vez son más las instituciones y centros de investigación que están poniendo todos sus esfuerzos en potenciar esta tecnología. Un claro ejemplo de ello son los esfuerzos que está realizando el DLR en un intento de poner en órbita el satélite EnMAP, el cuál, transportará entre sus componentes de observación un sensor hiperespectral muy superior tecnológicamente a las opciones actualmente disponibles en lo referente a teledetección espacial.

Así mismo, debido a la clara descentralización que la información hiperespectral presenta, han sido varios los proyectos que han pretendido paliar esta situación.

A continuación, se pretende exponer algunas de las herramientas más interesantes junto con las carencias que presentan.

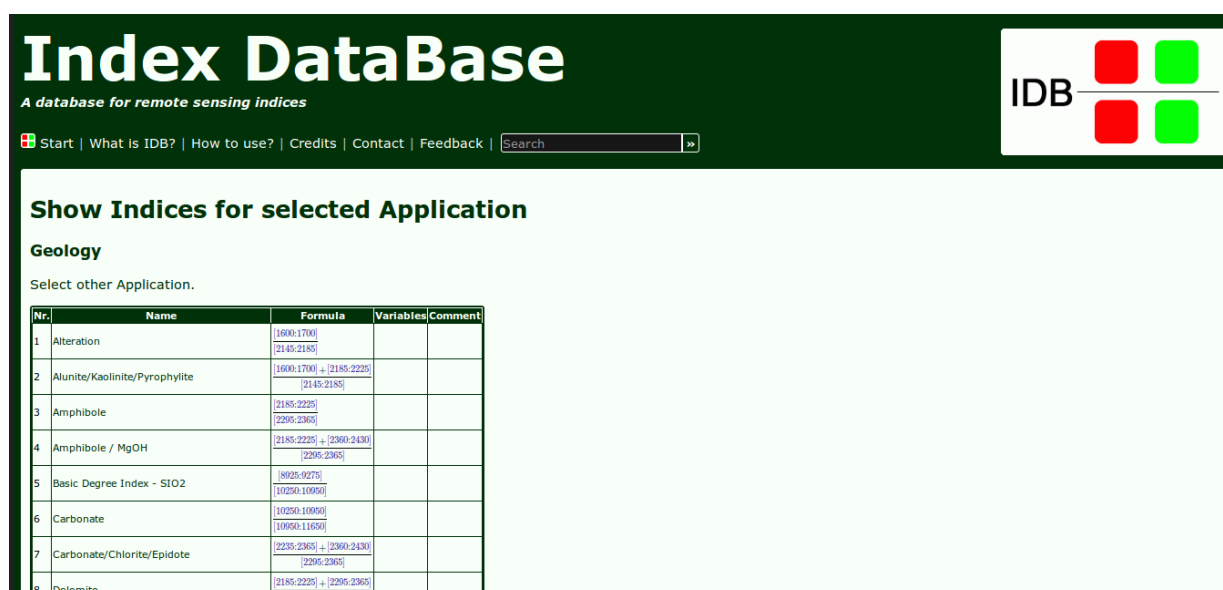
1. ZuBuD (Zurich Building Image Dataset): esta base de datos perteneciente a la Universidad de Zurich recoge una enorme cantidad de firmas espectrales de múltiples cubiertas, especialmente vegetales. Sin embargo, aunque hace unos años se hizo el intento de añadir una base de datos complementaria con índices y algoritmos de cómputo para diversos parámetros físicos, hoy día aún no ha sido implementada dicha funcionalidad.



ETH zürich

Ilustración 7: Detalle de la universidad de Zurich

2. IDB (Index DataBase): esta herramienta nació en el seno de la Universidad de Bonn como herramienta interna, pero actualmente su acceso es libre y gratuito. Concentra una enorme cantidad de índices con información completa acerca de ellos. Sin embargo, entre los criterios de búsqueda no se encuentra la posibilidad de emplear longitudes de onda, lo que en ocasiones es mucho más interesante que el uso del nombre del propio índice o el sensor más adecuado para su empleo.



Nr.	Name	Formula	Variables	Comment
1	Alteration	$\frac{[1600-1700]}{[2145-2185]}$		
2	Alunite/Kaolinite/Pyrophyllite	$\frac{[1600-1700] + [2185-2225]}{[2145-2185]}$		
3	Amphibole	$\frac{[2145-2225]}{[2295-2365]}$		
4	Amphibole / MgOH	$\frac{[2145-2225] + [2360-2430]}{[2295-2365]}$		
5	Basic Degree Index - SiO ₂	$\frac{[8025-9275]}{[10250-10950]}$		
6	Carbonate	$\frac{[10250-10950]}{[10950-11650]}$		
7	Carbonate/Chlorite/Epidote	$\frac{[2235-2365] + [2360-2430]}{[2295-2365]}$		
8	Dolomite	$\frac{[2145-2225] + [2295-2365]}{[2360-2430]}$		

Ilustración 8: Presentación de la base de datos IDB

3. Objetivos y justificación

3.1 Descripción de los objetivos

El objetivo fundamental del presente proyecto es el desarrollo de una base de datos de índices hiperespectrales que facilite la consulta y el acceso a la información de una manera rápida y eficaz. Junto a ella se pretende el desarrollo de una aplicación web que garantice el acceso a la base de datos remotamente y permita al usuario interactuar con la misma, así como obtener la información de acuerdo a sus necesidades y criterios de búsqueda.

El núcleo de la aplicación se encuentra situado en el servidor central del Earth Observation Center (EOC), instituto que forma parte del Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), situado en Múnich (Alemania). Este centro será el encargado del mantenimiento de la base de datos junto con la seguridad de acceso a la misma.

Las funcionalidades implementadas en la aplicación son las siguientes:

1. Base de datos con entradas individuales para cada índice almacenado.
2. Información de relevancia para cada entrada donde se presentarán entre otros datos identificador único, paper de referencia científica, fórmula y longitudes de onda que requiere.
3. Diferenciación clara entre diferentes versiones de un mismo índice almacenadas en la base de datos.
4. Capacidad de inserción de nuevos índices por parte de los usuarios de la aplicación.
5. Consulta de la base de datos en base a diferentes criterios definidos por el propio usuario, haciendo especial hincapié en el **desarrollo de los criterios que posibiliten la búsqueda de índices a partir de las regiones de espectro que involucren (longitudes de onda)**.
6. Sistema de control de calidad de la información almacenada e insertada mediante un sistema de vigilancia.

7. Sistema de seguridad frente a ataques externos procedentes de la red o bien por parte de usuarios malintencionados.
8. Capacidad de desarrollo y evolución del propio sistema para adecuar su estructura a las necesidades del momento así como garantizar la mejora e inserción de nuevas funcionalidades.

Debido al limitado tiempo de desarrollo del que se dispone, existen funciones y aspectos que no será posible implementar, por lo que se llevará a cabo en futuras actuaciones. Sin embargo, en este proyecto se indicarán una serie de directrices y procedimientos que permitirán la creación y configuración futura de estas nuevas funcionalidades.

3.2 Justificación del proyecto

La principal característica que diferencia la presente aplicación y base de datos de otros proyectos similares, como es el caso de la base de datos IDB comentada con anterioridad, es la **capacidad de utilizar longitudes de onda implicadas en el índice como criterio de búsqueda**.

Pero, ¿por qué es interesante utilizar este criterio a la hora de buscar índices en la base de datos?

Pretendo responder a esta cuestión en los siguientes apartados

- a) Determinación de la utilidad de una determinada banda:

Es usual que, dada una imagen hiperespectral, existan bandas que presentan demasiado “ruido”. Es el caso de la imagen adyacente, con alto contenido en ruido y bandeo vertical. En este caso, el procesamiento y corrección de estas bandas puede requerir tiempo y recursos que generalmente son limitados. Valorar si una banda es merecedora de ser procesada es una tarea difícil por lo que es común que dicha banda sea desestimada sin siquiera contemplar la posibilidad de su



*Ilustración 9:
Imagen
Hyperion*

procesado.

Sin embargo, si fuese posible determinar qué índices son calculados en base a la longitud de onda de dicha banda sería posible estimar el grado de utilidad de ésta. Con dicha información, podría considerarse el procesado de la imagen el lugar de desecharla.

b) Comparación entre sensores:

La configuración espectral en diferentes sensores hiperespectrales no suele ser exactamente la misma. Este hecho supone que ciertas longitudes de onda no están incluidas en la configuración de un determinado sensor pero, sin embargo, se encuentran presentes en la configuración de otro.

Por consiguiente, existen ciertos índices hiperespectrales que no pueden ser computados a partir de la información ofrecida por determinados sensores dado que no recogen las longitudes de onda requeridas.

Este hecho supone que no todos los sensores son adecuados para aplicaciones específicas. En este sentido, es necesario seleccionar el sensor en base a diferentes criterios de configuración, entre los que sobresale su configuración espectral.

Una aplicación que devolviese el conjunto de los índices hiperespectrales que pueden ser calculados en base al rango de longitudes de onda en el que trabaja un determinado sensor sería de utilidad a la hora de seleccionar la herramienta más adecuada.



Ilustración 10: Comparación entre sensores en el computo del NPQI.

c) Búsqueda de información en la red a través de buscadores convencionales:

Los buscadores como Google pueden ser útiles a la hora de buscar información literaria en la red. Sin embargo, presentan claras desventajas a la hora de realizar búsquedas en base a datos numéricos.

La búsqueda de índices mediante el empleo de los valores de longitud de onda es una ardua tarea, especialmente si lo hacemos en base a un rango de valores. Las principales razones de esta dificultad son las siguientes:

- Usualmente existen pequeñas diferencias en base al valor de longitud de onda o frecuencia buscadas y la longitud de onda o frecuencia presente en el índice. A la hora de emplear estos valores para el cómputo del índice no ofrecen diferencias importantes en cuanto a los resultados del cálculo, pero sí a la hora de buscar información relevante.
- Un buscador es incapaz de buscar en un rango de valores de frecuencia o longitud de onda. Devolverá resultados referidos a los extremos del intervalo pero nunca referidos a valores internos de éste.
- Como se ha comentado con anterioridad, la información se encuentra notablemente dispersa en la red.
- Presencia de ambigüedades a la hora de buscar datos numéricos en un buscador: si es preciso buscar índices referentes a la longitud de onda de 500nm serán devueltos también resultados referidos a 1500nm y 2500nm, dado que las cifras son comunes en los tres números.

4. Metodología y desarrollo

4.1 Revisión tecnológica

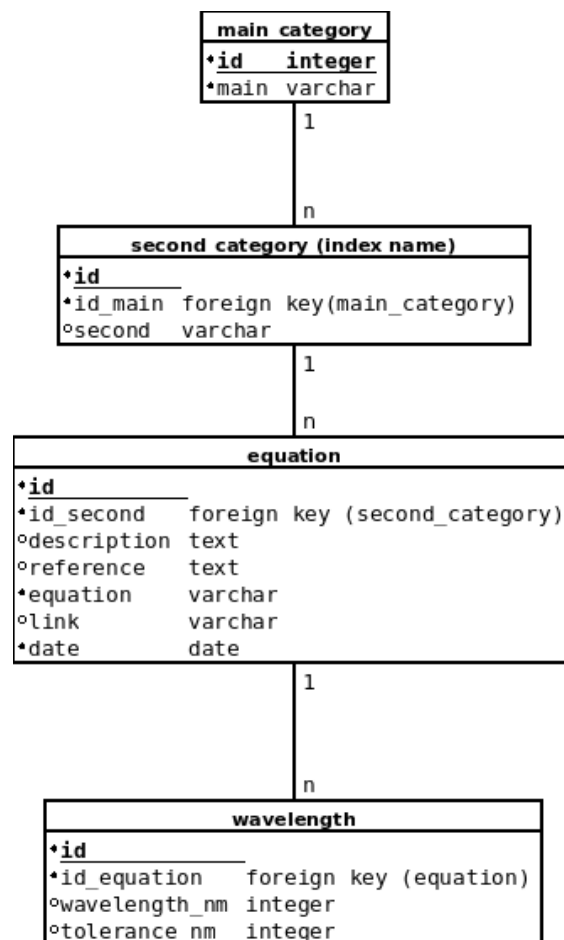
En este apartado se pretende mostrar y justificar la elección de la tecnología empleada en el desarrollo, levantamiento e implementación del sistema:

- Base de datos: la base de datos ha sido implementada siguiendo las directrices de una base de datos relacional multitabular. Para ello se ha seleccionado la tecnología de **mySQL** para su creación. Esta base de datos es libre, ofrece las mismas funcionalidades que otro software propietario como Oracle y además es compatible con una larga lista de servidores y servidores web.
- Sistema gestor de base de datos (DBMS): la opción clara en este sentido es **phpMyadmin**. Es un sistema intuitivo que ofrece una interfaz GUI clara y directa combinada con la potencialidad del “scripting” directo, soportando múltiples lenguajes tanto cliente como servidor. Así mismo, presenta una interesante funcionalidad para la gestión de usuarios y privilegios que es de utilidad a la hora de implantar la seguridad al sistema.
- Servidor web: se ha elegido **Apache Server** al tratarse del sistema más utilizado. Se trata de un servidor web libre que es compatible tanto trabajando bajo sistemas Windows como sistemas Linux. En referencia con este último, es destacable su compatibilidad con las distribuciones más conocidas y empleadas.
- Lenguajes:
 - Lenguaje servidor: **PHP**, encargado de la comunicación cliente servidor.
 - Lenguaje base de datos: **SQL**.
 - Lenguaje cliente: **HTML5**, constando de **HTML** como estructurador del sitio

- web, **CSS3** como constructor de estilos y **JavaScript** para funcionalidad e inteligencia interna del sistema.
- Entorno de desarrollo (IDE): el entorno de desarrollo empleado en este caso ha sido **Eclipse** en su versión **Mars**. Este entorno es libre y presenta apoyo a la programación para todos los lenguajes previamente comentados a través de diferentes “plugins”.

El sistema operativo bajo el cuál se desarrollará el sistema es UBUNTU Linux 14.04 LTS 32 bits “Trusty Tahr” . La suite libre **XAMPP** ofrece todos los componentes previamente comentados y perfectamente implementados para ser instalados conjuntamente en un servidor para acceso remoto como para trabajar en local dentro del propio ordenador, opción realmente útil para el desarrollador.

4.2 Estructura de la base de datos



4.3 Desarrollo del sistema

Posteriormente a la instalación y configuración del servidor web, así como la creación de la estructura de la base de datos, se procedió al desarrollo de la herramienta web.

La herramienta web consta de un conjunto de archivos .php vinculados a través de diferentes hiperenlaces. Estos archivos son los garantes de la comunicación entre cliente y servidor. A través del lenguaje HTML se desarrolló la estructura de la página de acceso así como los diferentes componentes de la misma.

Los formularios de entrada y consulta de información se desarrollaron empleando la API Forms perteneciente al paradigma HTML5. Tras la inserción y envío de esta información al servidor, diferentes “scripts” de lenguaje PHP recogen en variables los datos insertados por el usuario y los pasan como parámetros de la sentencia SQL correspondiente.

Así mismo, mediante PHP se abre una conexión a la base de datos de acuerdo con el usuario correspondiente y se envía la solicitud de información.

Las sentencias SQL empleadas son de dos formas fundamentales:

- Inserción de una nueva categoría principal, una nueva categoría secundaria o un nuevo índice en la base de datos.
- Consulta de la base de datos en base a unos criterios de selección.

En ambas situaciones la consulta genera una respuesta que, una vez más, el lenguaje PHP pasa al cliente a través de una página HTML en la que figuran los resultados obtenidos.

Además de los archivos de sistema principales, el proyecto contempla elementos auxiliares que desempeñan diferentes funciones:

1. Archivo config.php con la configuración de seguridad de conexión y acceso a la base de datos.

2. Hoja estilo.css con el código CSS3 que controla el aspecto y estilo de la página.
3. Funciones JavaScript en archivos independientes que confieren funcionalidades varias activadas por eventos como “tooltips” y campos inteligentes.
4. Fichero con el conjunto de imágenes .gif correspondientes a las fórmulas de los índices.

El siguiente diagrama indica el funcionamiento del sistema y la relación cliente-servidor.

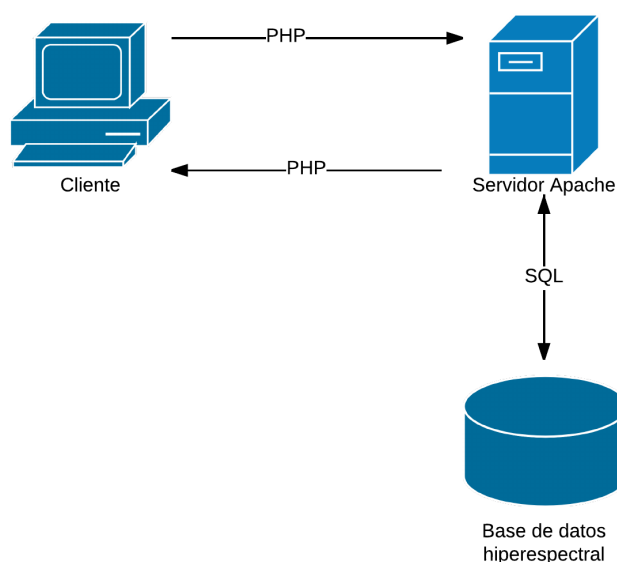


Ilustración 11: Esquema del sistema y funcionamiento

4.4 Descripción del sistema y funciones

Se ha determinado que el acceso al sistema se llevará a cabo desde el propio portal del EOC. A través del enlace correspondiente se accede a la página de acceso principal que en un futuro albergará también el control de acceso previo.

Desde la página raíz es posible acceder al conjunto de funcionalidades de la

herramienta a través de los diferentes enlaces que en ella aparecen.

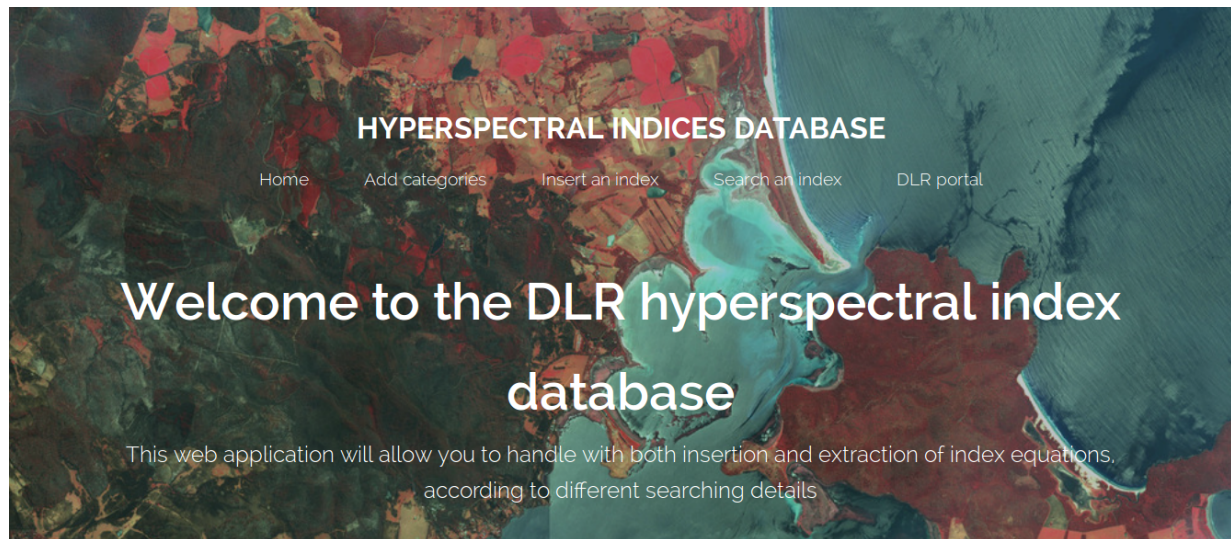


Ilustración 12: Página principal de acceso a la aplicación

Las funciones quedan separadas en dos módulos de funcionamiento esenciales. A saber:

- Módulo de inserción:

El módulo de inserción engloba las funciones que permiten añadir nuevas entradas en la base de datos. Estas entradas pueden ser de tres formas:

- a) Categoría principal: cada índice está asociado a una categoría principal que indica su campo de aplicación (vegetación, atmósfera, suelos,...).
- b) Categoría secundaria o nombre del índice: caracterización del índice. Separar en tablas diferentes los nombres de índice y las entradas de los mismos permite insertar diferentes versiones de un mismo índice desarrolladas por diferentes autores.
- c) Entrada de ecuación: asociada siempre a un índice. Se introduce diferente información de relevancia acerca del mismo:
 - Obligatorio:
 - Categoría secundaria o nombre del índice.

- Descripción.
- Fórmula en formato .gif.
- Referencia siguiendo el formato clásico de referencia bibliográfica.
- Longitudes de onda implicadas(nm).
- Tolerancia (nm).
- Opcional:
 - Hiperenlace a un paper o referencia de interés.

Insertion of new data

Hyperspectral index database

EQUATION INSERTION

A) Main data

Main category

Second category:

Description:

Ilustración 13: Formulario de entrada de datos del índice

- Módulo de consulta:

El módulo de consulta permite definir los criterios de búsqueda empleados en la búsqueda de entradas en la base de datos. El código desarrollado permite total libertad a la hora de configurar la consulta. De esta manera, es posible combinar y utilizar los criterios de acuerdo a la necesidad del usuario.

En este sentido, los criterios de búsqueda iniciales son los que se muestran a continuación. No obstante, el sistema se ha preparado para permitir la adición de nuevos criterios en un intento de mejora de la herramienta.

- Categoría: permite seleccionar las diferentes entradas pertenecientes a un determinado índice.
- Fecha de entrada: permite seleccionar entradas en base a su fecha de inserción generada de forma automática. Tanto utilizando una fecha única como generando un rango.
- Búsqueda por longitud de onda (nm): aspecto crucial en el ámbito del proyecto. Garantiza dos modalidades de búsqueda:
 - Búsqueda por longitud de onda única: el usuario introduce una longitud de onda en nm. El sistema devuelve aquellas entradas que coinciden en alguno de sus valores de longitud de onda, valorándolo en base a la tolerancia.
 - Búsqueda por rango de longitudes de onda: el usuario introduce un rango de longitudes de onda en nm. El sistema devuelve aquellas entradas con alguna de sus longitudes en este rango. La entrada es devuelta más de una vez si posee varias longitudes dentro de este rango.

El parámetro de tolerancia introducido junto con cada longitud de onda perteneciente a un determinado índice permite controlar la cantidad de valores de longitud de onda válidos a la hora de calcular el índice. Existen índices que permiten un grado de libertad elevado a la hora de seleccionar las bandas correspondientes a la longitud de onda requerida. Sin embargo, existen otros índices que requieren unas longitudes de onda específicas y limitadas en rango, lo que reduce enormemente el grado de libertad a la hora de seleccionarlas.

Para introducir este hecho en la definición del índice se ha recurrido al empleo del concepto de tolerancia previamente mencionado.

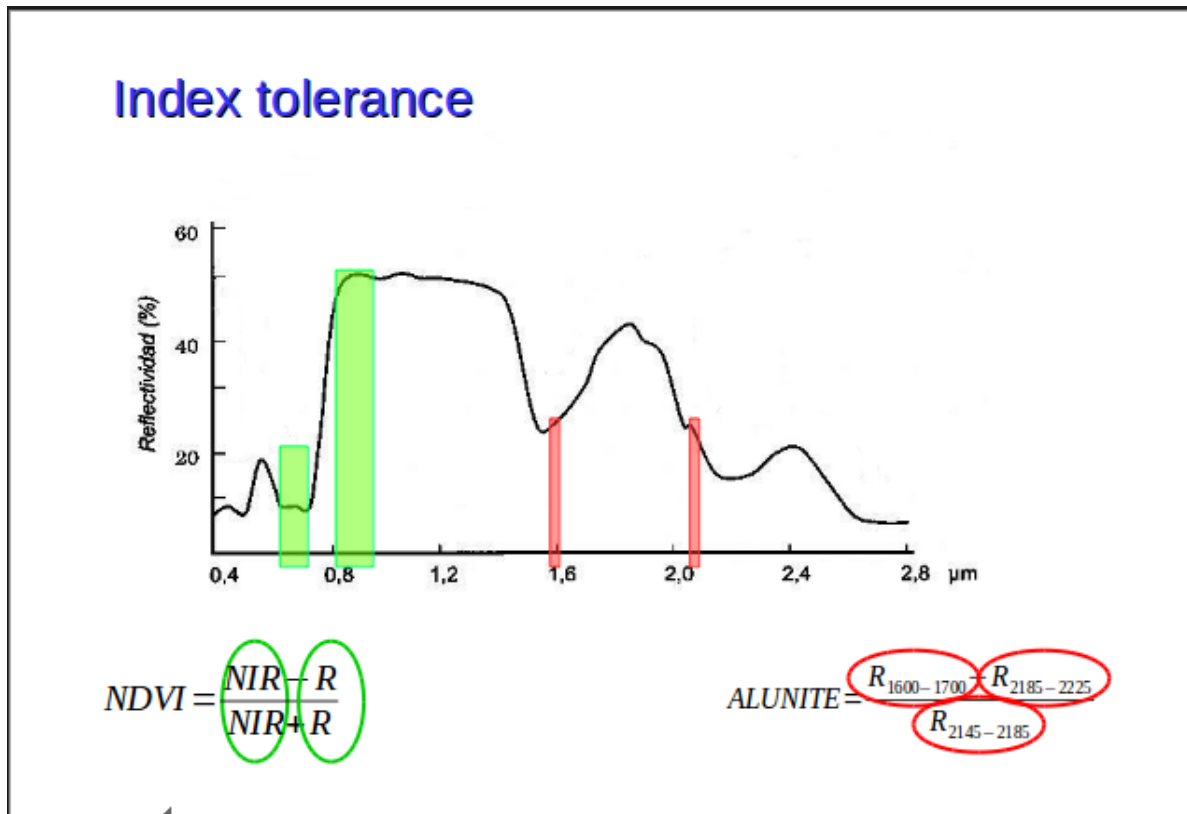


Ilustración 14: Tolerancia de longitudes de onda aplicada a los índices

5. Resultados y discusión

Como se comentó en la sección 3.1, el objetivo fundamental del proyecto es la creación de una base de datos que centralice toda la información referente a índices hiperespectrales en una única herramienta. De este modo, no solo se tendría un acceso rápido a los índices requeridos por parte de un profesional o científico en un momento dado y para una aplicación determinada, sino que estaríamos ante un punto de reunión para el conjunto de la comunidad hiperespectral, un lugar en el que consultar las novedades fruto de diferentes líneas de investigación, así como para la publicación de nuevos índices por parte de los propios integrantes de la comunidad hiperespectral.

En este sentido, el alcance de este objetivo es ambicioso y requiere de la colaboración de numerosas entidades y agentes que garanticen la viabilidad del mismo en un ámbito más global.

Es por ello que alcanzar dichas cotas escapa de las posibilidades del proyecto presente, debido esencialmente a lo limitado del tiempo disponible.

Sin embargo, sí supone la colocación de una primera piedra esencial, que sirva de guía para actuaciones futuras en base a lo previamente establecido.

Pese a los problemas y dificultades encontrados en el desarrollo y programación de la herramienta y base de datos, gran parte de los objetivos planteados inicialmente han sido alcanzados.

5.1 Limitaciones y objetivos pendientes

En este apartado se pretenden mostrar los aspectos referentes a los objetivos iniciales que han quedado pendientes y que suponen una continuación del trabajo realizado hasta el momento.

- Comunidad hiperespectral:

El objetivo inicial fue la apertura de la herramienta a la comunidad a través de la

propio portal del DLR. Sin embargo, debido a diferentes problemas referidos a aspectos de seguridad fue imposible obtener los permisos requeridos para ubicar el sistema en los servidores del Earth Observation Center (EOC). Es posible que en el transcurso de los siguientes meses sea factible la instalación y apertura de la herramienta a la comunidad, pero en la actualidad se optó por una solución temporal, desplegando la misma para uso interno dentro del instituto.

Pese a ello, varios miembros del instituto fueron capaces de valorar el funcionamiento de la misma y comprobar la utilidad de esta.

- Implantación de la seguridad:

Un aspecto relevante a tener en cuenta a la hora de abrir el acceso remoto a la base de datos es el de la seguridad. Dado que no ha sido posible la apertura de la herramienta, y debido a lo limitado del tiempo disponible, los aspectos referidos a la seguridad han quedado en un segundo plano. Sin embargo es un aspecto que necesitará ser abordado por lo que se han facilitado la implantación de la misma en el desarrollo del sistema. Una recomendación en este aspecto sería el empleo de sesiones asociadas a un usuario con unos privilegios establecidos (aspecto contemplado en el propio lenguaje PHP) así como el desarrollo de un sistema de login y contraseñas. Mediante la creación de una nueva base de datos de usuarios y contraseñas en el mismo servidor es posible incluir en el sistema una primera medida preventiva y de control que posteriormente puede ser complementada con medidas de seguridad asociadas a determinados riesgos previamente detectados.

- Seguimiento de la calidad y vigilancia:

En este aspecto, se ha incluido una función que envía un correo mediante método "GET" al administrador asociado a la base de datos con la información incluida cada vez que un usuario inserta una nueva entrada en la base. Esta sencilla funcionalidad garantiza un control sobre los contenidos de la base de datos así como facilitar la

evaluación de la exactitud y calidad de los contenidos insertados.

Sin embargo, supone la configuración de la seguridad interna del servidor para que permita enviar correos automáticos. Generalmente este tipo de acciones no son permitidas a menos que sean autorizadas por un administrador. En este sentido, y dado el limitado acceso al servidor, la funcionalidad actualmente se encuentra en desuso.

5.2 Recomendaciones de futuros desarrollos y mejora del sistema

A continuación se pretende sugerir posibles desarrollos futuros relacionados con el presente proyecto que mejorarían su funcionalidad o abrirían nuevas puertas a otras aplicaciones.

Entre las cuestiones más relevantes destacan por un lado la automatización de procesos o la implicación de los propios sensores en la extracción de información relevante desde la base de datos.

I. Integración con rutinas del DFD:

Entre los diferentes grupos de investigación pertenecientes al Earth Observation Center (EOC), el grupo DFD trabaja con rutinas de automatización de los procesos de computo de índices.

En colaboración con ellos, un posible desarrollo futuro consistiría en automatizar el cálculo de todos los índices posibles dada una determinada imagen hiperespectral. El sistema leería el “header” o metadatos de la imagen donde aparece la configuración hiperespectral de la misma. A partir de esta información el sistema seleccionaría de la base de datos los índices asociados a las diferentes longitudes de onda y los calcularía a partir de las bandas correspondientes.

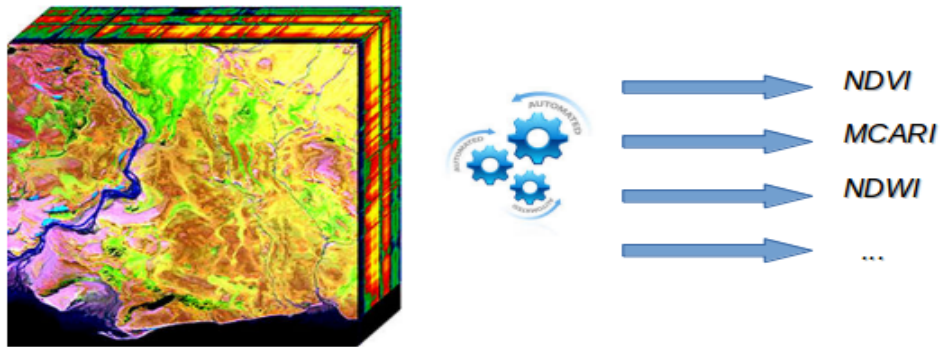


Ilustración 15: Integración con las rutinas del DFD: cómputo automático de índices

II. Integración del sensor:

Una interesante herramienta derivada de forma directa de la que nos ocupa en este documento permitiría determinar las bandas más adecuadas correspondientes a la configuración hiperespectral de un sensor dado para el cómputo de un determinado índice.

Las entradas al sistema en este caso serían un sensor hiperespectral y un índice, de modo que, de forma totalmente automática, el sistema devolvería que bandas son más adecuadas para calcular dicho índice a partir de la información ofrecida por este sensor.

No solo facilitaría la reducción de información hiperespectral relevante para la aplicación dada, sino que como se comentó en el apartado 3.2, apoyaría la toma de decisiones referente a al procesado de una banda con ruido.

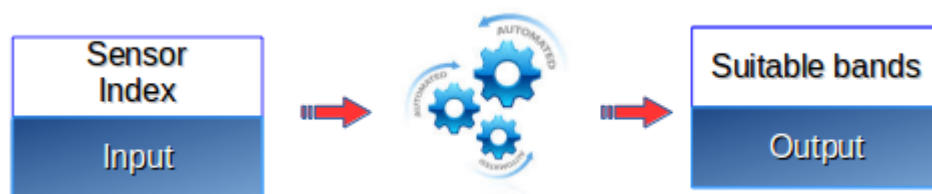


Ilustración 16: Determinación automática de bandas más apropiadas